

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM  
OPTIKAI ÉS KVANTUMELEKTRONIKAI TANSZÉK

# A csillagfejlődés korai szakasza fiatal galaktikus nyílthalmazokban

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Készítette:  
**Balog Zoltán**  
(tudományos segédmunkatárs)



Témavezetők:  
**Dr. Vinkó József**  
(egyetemi docens)  
SZTE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék

**Dr. Scott Kenyon**  
(Smithsonian Astrophysical Observatory)

SZEGED  
2005

## 1. Tudományos előzmények és célok

Már nagyon régen felismerték, hogy a csillaghalmazok kitűnő laboratóriumként szolgálnak a csillagfejlődés kutatásához. Tanulmányozásuknak fontos szerepe van abban, hogy jobban megértsük a csillagkeletkezés és -fejlődés fizikáját. Ebből a szempontból a halmazok legfontosabb tulajdonsága, hogy már statisztikailag is jelentős mennyiségű csillagot tartalmaznak viszonylag kis helyre sűrítve. Ez lehetőséget biztosít arra, hogy egyszerű módszerekkel rövid idő alatt nagy mennyiségű, egymással fizikai kapcsolatban álló csillagról tudjunk információt szerezni. A halmazok csillagainak tömege meglehetősen tág határok között változik. Mivel ezek a csillagok többé-kevésbé egyszerre keletkeztek ugyanabból a molekulafelhőből, a halmazok szín-fényesség diagramjának megfigyelése alkalmas a csillagfejlődési elméletek tesztelésére. A halmazok szolgáltatják a legkisebb fizikai skálát, amelyen a csillagok kezdeti tömegfüggvénye tanulmányozható.

Mivel a halmazt tagjainak gravitációs vonzása tartja össze, fejlődését a Newton-törvények szabályozzák. Soktest-rendszerek esetén a kölcsönhatások rendkívül bonyolultak, ezért a csillaghalmazok fontos tesztelési lehetőséget biztosítanak a csillagdinamika tanulmányozásához is. A halmazok térbeli eloszlása szerepet játszik a Galaxis struktúrájának feltérképezésében. Például a gömbhalmazok eloszlása segített meghatározni a Galaxis középpontjának a helyét és felfedezni a galaktikus halót.

A fiatal nyílthalmazok adatokat szolgáltatnak a csillagkeletkezésről a galaxisokban és a Tejútrendszer spirálkarjaiban. Ezek a halmazok szintén érdekesek lehetnek a Naprendszer eredetének vizsgálatában, mivel a meteorit mintákban talált rövid élettartamú radioaktív magok arra utalnak, hogy a Nap maga is egy nagy tömegű csillag közelében keletkezett, ezért nagyon valószínű, hogy tagja volt egy viszonylag sok tagból álló halmaznak.

A halmazok eredetéről nagyon keveset tudunk. A Galaxis gömbhalmazai több milliárd évesek, ezért keletkezési mechanizmusuknak közvetlen empirikus vizsgálata teljesen lehetetlen. A nyílthalmazok azonban, úgy tűnik, folyamatosan keletkeznek Galaxisunk korongjában, és így elméletileg lehetőség nyílik keletkezésük és a bennük lezajló fizikai folyamatok közvetlen tanulmányozására.

A nyílthalmazok megfigyelése alapvető fontosságú azon fizikai folyamatok megértéséhez is, amelyek elvezetnek egy molekulafelhőtől egy fősorozati csillaghoz. A csillagok folyamatosan keletkeznek Galaxisunkban, ezáltal tulajdonképpen a csoportos csillagkeletkezés minden fázisát figyelemmel lehet kísérni segítségükkel. A bennük talált fősorozat előtti fejlődési állapotban

levő csillagok fizikai paraméterei pontosabban határozhatók meg, mint egyedülálló csillagoknál.

Ugyanúgy, mint fősorozati ill. fősorozat utáni fejlődési állapotban lévő csillagok esetében, a megfigyelt Hertzsprung-Russel diagram lehetővé teszi az észlelések és a különböző csillagfejlődési modellek jóslatai közötti összehasonlítást. Így nyílthalmazban lévő fősorozat előtti fejlődési állapotban lévő csillagok detektálása számos előnnyel jár a kiterjedt csillagketkezési területeken megfigyelt egyedülálló csillagokkal szemben.

A vizsgálat szempontjából a legfontosabbak a fiatal nyílthalmazok, melyek még megőrizték eredeti csillagpopulációjukat. Idősebb ( $\tau > 10^7$  év) nyílthalmazok már veszíthetnek csillagokat egymással, illetve a Galaxisal történő gravitációs kölcsönhatások miatt. Azonban a fiatal halmazok vizsgálata nem mindig egyszerű, hiszen a csillagok mellett a halmazban jelen lehetnek még a "szülő" gázfelhő maradványai, melyek megnehezítik a fotometriai vizsgálatokat, hiszen igen erős differenciális vörösödést ill. extinkciót tudnak okozni. Általában a két- hárommillió éves halmazok optikai tartományban nem is láthatók, mivel teljesen be vannak ágyazódva abba a molekulafelhőbe, amelyből keletkeztek. Az ilyen halmazok vizsgálatához infravörös tartományban végzett megfigyelésekre van szükség. Ez a technika azonban csak az utóbbi 10-15 évben kezdett jelentős mértékben fejlődni.

Munkám célja fiatal, galaktikus nyílthalmazok fizikai paramétereinek meghatározása volt fotometriai és spektroszkópiai módszerekkel. Szintén célul tűztem ki, hogy a halmazokban fősorozat előtti fejlődési állapotban lévő csillagokat találjak és ellenőrizsem, ill. pontosítsam az irodalomban eddig megjelent adatokat és elméleteket.

## 2. A kutatás módszerei

Vizsgálataim során felhasználtam több külföldi obszervatórium (Fred Lawrence Whipple Obszervatórium, Tucson, Arizona, USA; Német-Spanyol Csillagászati Központ, Calar-Alto, Spanyolország; David Dunlap Obszervatórium, Richmond Hill, Kanada) műszereit, valamint az együttműködő partnereim által egyéb műszerekkel rögzített adatokat. A nyers adatok feldolgozását részben saját fejlesztésű programokkal, részben az IRAF programcsomag segítségével végeztem. Az eredmények kiértékeléséhez saját magam által írt programokat használtam.

A halmazok fizikai paramétereinek meghatározásához klasszikus izokronillesztést alkalmaztam, míg a fősorozat előtti fejlődési állapotban lévő

csillagok azonosításához felhasználtam fotometriai és spektroszkópai tulajdonságaikat.

A csillagok spektrálklasszifikációjához kifejlesztettem egy módszert, ami a hidrogén, hélium és titánium-oxid spektroszkópai indexein alapul. A fiatal csillagok spektroszkópai azonosításhoz szintén hasonló módszert alkalmaztam, ami a hidrogén Balmer-sorozatának két vonalának ( $H_\alpha$ ,  $H_\gamma$ ) erősségének aránya alapján dönti el, hogy a csillag mutat-e emissziót a  $H_\alpha$  vonalban, vagy sem. Néha ugyanis a  $H_\alpha$  emisszió csak a vonal magjának kitöltésében mutatkozik meg, így vizuálisan nehéz azonosítani.

Az NGC 7538 esetén a beágyazott halmaz vizsgálatához a standard IR vizsgálati módszereket alkalmaztam, a kezdeti tömegfüggvény meredekségének meghatározását a K-szűrős kumulatív luminozitásfüggvény segítségével végeztem el.

### 3. Tudományos eredmények

Dolgozatomban két nyílthalmaz és egy ionizált hidrogénfelh (HII régió) fotometriai ill. spektroszkópai analízisét mutattam be.

1. Az NGC 7128 esetében kiterjedt fotometriai vizsgálatot végeztem az Instituto de Astrofísica de Andalucia munkatársaival együttműködve. Johnson (*UBV*) ill. Strömrgren (*uvby*) rendszerben történt fotometriai mérések segítségével meghatároztam a halmaz fizikai paramétereit (kor, távolság, átlagos vörösödés). A különböző módszerekkel kapott eredmények jó egyezésben vannak egymással. A Strömrgren mérések alapján kiszámoltam a régió vörösödési törvényeit, melyeket a standard értékektől eltérőnek, de egymással konzisztensnek találtam. Ezzel megerősítettem azt a feltevést, miszerint a nagy vörösödésű területeken a vörösödési meredekségek eltérnek a standard értékektől.

2. A halmaz irányában található legfényesebb csillagokról spektrumokat is készítettem, melyek segítségével elvégeztem ezen csillagok spektrálklasszifikációját. A spektráltípusok felhasználásával szintén meghatároztam a vörösödést, melynek értéke jó egyezést mutatott a fotometriából nyert értékkel. A vörösödést a  $\lambda 6613$  Å-nél található diffúz intersztelláris sáv segítségével is kiszámítottam. Az így kapott érték szintén összhangban van a többi fotometriai és spektroszkópai vörösödéssel.

A halmaz csillagainak spektroszkópai vizsgálata során két csillag spektrumában  $H_\alpha$  emissziót találtam. A csillagokat a klasszikus Be csillagok közé soroltam be (Balog et al. 2000, Balog et al. 2001).

3. Az NGC 6871 nyílthalmaz esetén spektroszkópai vizsgálatokat vég-

eztem. Több mint 1500 csillagról készítettem spektrumot az NGC 6871 látóirányában, melyek közül 44-nél kimutattam az emisszió jelenlétét a  $H\alpha$  vonalban.

A csillagok spektrálklasszifikációjára kidolgoztam egy automatizált módszert, amely keskenysávú spektrális indexek vizsgálatán alapul. Az eljárás felhasználásával klasszifikáltam az NGC 6871 irányába eső csillagokat, és az irodalomban fellelhető fotometria felhasználásával meghatároztam a halmaz fizikai paramétereit, valamint elkülönítettem az előtér- illetve háttér-objektumokat a halmaztagoktól (Balog et al. 2002, Balog and Kenyon 2002, Balog, Kenyon and Vinkó 2003).

4. Fotometriai és a spektroszkópiai információk segítségével megszerkesztettem a halmaz vörösdésmentes szín-fényesség diagramját. Ennek segítségével ill. csillagok spektrumában található emissziós vonalak alapján elkülönítettem a PMS csillagokat az egyéb emissziós objektumoktól.

Megállapítottam, hogy a halmazban valószínűleg 11 PMS csillag található. Ezek  $H\alpha$  index szerinti eloszlását összehasonlítottam, a Taurus-Auriga molekulafelhőben található PMS csillagok eloszlásával. Megállapítottam, hogy az eloszlás maximuma mindkét esetben ugyanannál az indexértéknél van, de az NGC 6871 esetén hiányoznak az erős emissziót mutató csillagok. Mivel a Taurus-Auriga molekulafelhő PMS csillagai jóval fiatalabbak ( $\simeq 10^6$  évesek) mint az NGC 6871 PMS csillagai ( $\simeq 10^7$  évesek), arra következtettem, hogy az akkréciós korong, mely a T Tauri csillagok emissziójának motorja  $\simeq 10^7$  éves időskálán eltűnik.

A spektroszkópiai mintában talált gyengevonalú T Tauri csillagok 45%-a mutat [SII] 36%-a pedig [NII] emissziót. Ilyen emissziót eddig még nem sikerült ezekben a csillagokban kimutatni. Ez arra utal, hogy ezen vonalak létrejöttében az eddig gondoltakkal ellentétben nem csak az akkrécióval összefüggő jelenségek (jet, korong-csillagszél kölcsönhatás) játszanak szerepet (Balog et al. 2002, Balog and Kenyon 2002, Balog, Kenyon and Vinkó 2003).

5. Az NGC 7538 jelű HII régióról méréseket készítettem közeli infravörösben. A mérések K szűrővel készültek, és a korábban S. Kenyon, M. Barsony és E. Lada által készített infravörös (JHK) méréseket egészítették ki.

Az infravörös források pozícióiból megszerkesztettem a terület simított csillagsűrűség kontúrjait, melyek segítségével meghatároztam az NGC 7538-ba ágyazott fiatal halmaz középpontjának koordinátáit. Közeli infravörös szín-fényesség és szín-szín diagramok felhasználásával kimutattam, hogy a halmaz nagyrészt PMS csillagokból áll, és távolsága egyezésben van a HII

régióra adott korábbi távolságbecslésekkel.

Fényesség- és színfüggvények segítségével igazoltam azt a feltevést, hogy a régió három egymástól elkülöníthető részre osztható, melyek vörösödése különböző.

Megszerkesztettem a halmaz kumulatív logaritmikus luminozításfüggvényét, melyből becslést adtam a halmaz kezdeti tömegfüggvényének (IMF) meredekségére. A kapott érték jó egyezést mutat a más csillagkeletkezési területekre meghatározott meredekség értékekkel. A régió különböző területeire megszerkesztett kumulatív logaritmikus luminozításfüggvények segítségével igazoltam, hogy a McCaughrean által definiált régiók valóban egy kor-sorozatot alkotnak (dél-keleti rész a legfiatalabb, észak-nyugati rész a legöregebb).

A kapott meredekségből az IMF kiintegrálásával megbecsültem a halmazhoz tartozó csillagok össztömegét és megállapítottam, hogy a halmaz tömege kb. megegyezik azokkal a tömegekkel melyeket a Plejádok és az Orion Nebula Halmaz esetén határoztak meg, de jóval kisebb mint a  $\chi$  és h Persei esetén kapott értékek (Balog, Kenyon and Vinkó 2003, Balog et al. 2003, Balog et al. 2004, Balog).

## A disszertációval kapcsolatos referált publikációk

**Balog, Z.,** Kenyon, S. J., Lada, E. A., Barsony, M. & J. Vinko 2004  
*Near Infrared (JHK) Survey of the vicinity of the HII region NGC7538:  
Evidence for a young embedded cluster*  
Astronomical Journal, 128 2942

**Balog, Z. & Kenyon, S.** 2002  
*"Spectroscopic Survey of the Galactic Open Cluster NGC 6871 I. New  
Emission Line Stars"*  
Astronomical Journal, 124 2083

**Balog, Z.,** Delgado, A. J., Moitinho, A., Furesz, G., Kaszas, G., Vinko, J., & Alfaro, E. J. 2001 *"Fundamental Parameters and New Variables of the Galactic Open Cluster NGC 7128"*  
MNRAS, 323, 872

## A disszertációval kapcsolatos konferencia-kiadványok

**Balog, Z.,** Kenyon, S. & Vinko J. 2004,  
*"Photometric and Spectroscopic Study of Young Galactic Open Clusters"*  
in Open Issues of Local Star Formation and Early Stellar Evolution (Proceedings of a Colloquium, eds. Jacques Lepine & Jane Gregorio-Hetem, Ouro Preto, Brazil, Astrophysics and Space Science Library 299, Kluwer Academic Publisher) CD-ROM

**Balog, Z.,** Kenyon, S. J., Lada, E. A. & Barsony, M. 2003  
*"Near Infrared (JHK) Photometric Survey of NGC7538"*  
in Galactic Star Formation Across the Stellar Mass Spectrum (Proceedings of IAOC Workshop, eds. J. De Buizer & N.S. van der Bliek, La Serena, Chile, ASP Conference Series Vol. 287) p 445

**Balog, Z., & Kenyon, S. J.** 2002,  
"Search for Pre-Main Sequence Stars in Open Clusters: NGC6871"  
in Origins of Stars and Planets: The VLT View (Proceedings of ESO workshop) CD-ROM

**Balog, Z., Vinko, J., Furesz, G., Alfaro, E. J., Delgado, A. J. & Moitinho, A.** 2000 "Discovery of New Be Stars in the Galactic open Cluster NGC7128"  
in The Be Phenomenon in Early Type Stars (Proceedings of IAU Coll. 175, eds. M. Smith, H. Henrichs & J. Fabregat, Alicante, Spain, ASP Conference Series Vol. 214.) p 67

### **Egyéb referált publikációk**

Torres, M. A. P., Callanan, P. J., Garcia, M. R., McClintock, J. E., Garnavich, P., **Z. Balog**, Berlind, P., Brown, W. R., Calkins, M. & Mahdavi A. 2002 "Optical Spectral Monitoring of XTE J1118+480 in Outburst: Evidence for a Precessing Accretion Disk?"  
Astrophysical Journal, 569, 423

Vinko J., Kiss L.L., Thomson J., Furesz G., Lu W., Kaszas G., & **Balog Z.** 1998,  
"Early-time spectroscopic observations of SN 1998aq in NGC 3982"  
Astronomy and Astrophysics, 345, 592

**Balog, Z., Vinko, J. & Kaszas, G.** 1997,  
"Baade-Wesselink Radius Determination of Type II Cepheids"  
Astronomical Journal, 113, 1833

**Balog, Z. & Vinko, J.,** 1995  
Is TX Delphini a Population I (Classical) Cepheid?  
Information Bulletin on Variable Stars No. 4150



## Egyéb konferencia-kiadványok

Kiss L.L., Vinko K., **Balog Z.**, Alfaro E. & Bakos G.: 1999,  
"Recent photometric and spectroscopic results of Cepheid variables"  
in Theory and tests of convective energy transport (Proceedings of a Workshop on Stellar Structure, eds. A. Gimenez, E. Guinan & B. Montesinos, Granada, Spain ASP Conf. Ser. Vol. 173 ) p 349

Vinko, J, Kaszas, G., **Balog Z.** & Kiss, L. L. 1998,  
„Velocity Differences in Cepheid Atmospheres  
in A Half Century of Stellar Pulsation Interpretations (Proceedings of conference eds. P.A. Bradley & J.A. Guzik, ASP Conf. Ser. Vol. 135) p.182

**Balog, Z.** & Kaszas, G. 1997,  
"CCD-photometry of five poorly studied open clusters in Cygnus"  
in IAPPP Communication No. 67 (Proceedings of IAPPP96 Symposium Baja, Hungary) p 70.

Vinko, J. & **Balog, Z.**, 1995  
*Baade-Wesselink Analysis of Type II Cepheids*  
proceedings of IAU Colloquium No. 155 *Astrophysical Application of Stellar Pulsation*, eds Stobie, R.S. & Whitelock, P.A., p. 369

## Egyéb nem referált publikációk

Jha, S., Challis, P., Matheson, T., Kirshner, R. & **Balog, Z.**, 2000  
"Supernova 2000dm in UGC 11198"  
IAU Circular No. 7497 2.

Jha, S., Challis, P., Matheson, T., Kirshner, R. & **Balog, Z.**, 2000  
"Supernova 2000dn in IC 1468"  
IAU Circular No. 7499 2.